

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-272566

(43)Date of publication of application : 05.10.2001

(51)Int.Cl. G02B 6/13
 G02B 1/02
 G02B 5/18
 G02B 5/30
 G02B 6/12

(21)Application number : 2000-090749

(71)Applicant : MINOLTA CO LTD

(22)Date of filing : 27.03.2000

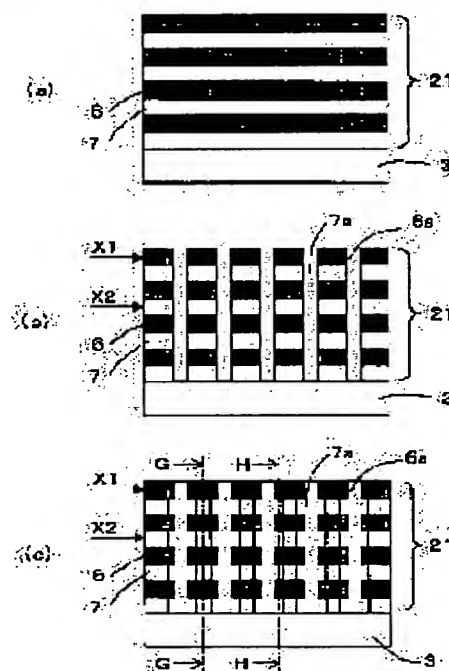
(72)Inventor : YOKOYAMA HIKARI
 KITAOKA KENJI
 TERAMOTO MIYUKI

(54) METHOD FOR MANUFACTURING PHOTONIC CRYSTAL

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method for manufacturing photonic crystals which makes it possible easily to obtain the photonic crystals varying in optical characteristics by areas.

SOLUTION: A base body 21 is formed by laminating plural media 6 and 7 having different etching characteristics and refractive indices on a substrate 3 and plural hole parts 6a and 6b periodically arrayed on the surface of the base body 21 are formed by etching or anodic oxidation, etc. The diameters of the hole parts 6a and 7a are thereafter enlarged by etching. As a result, the spurious three-dimensional photonic crystals which are periodically arrayed with the media 6 and the media 7 in a thickness direction at a section G-G and are periodically arrayed with the media 6 and air in a thickness direction at a section H-H are obtained.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

* NOTICES *

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the manufacture approach of the photograph nick crystal which has arranged periodically two or more media by which refractive indexes differ.

[0002]

[Description of the Prior Art] The photograph nick crystal which has arranged periodically two or more media by which refractive indexes differ has structure as shown in drawing 12. Medium 2a from which the photograph nick crystal 1 differs in a refractive index at a substrate 3 top, and 2b are arranged periodically. Since a lightguide 2 is inserted into the air space and substrate 3 of the upper part where a refractive index is small by making larger than the refractive index of a substrate 3 the refractive index of the lightguide 2 which consists of medium 2a and 2b, the light which carried out incidence to the lightguide 2 is shut up in a lightguide 2, and guides waves.

[0003] The photograph nick crystal 1 has the property in which the anisotropy of refractive-index distribution arises. A different optical property to desired wavelength or the light of the polarization direction can be acquired by choosing appropriately the period of grid classes, such as medium 2a, such as medium 2a, a refractive index of 2b, a cylinder, and a prism, a configuration of 2b, medium 2a, magnitude of 2b, a triangular grid, and a tetragonal lattice, or an array.

[0004] The light of the wavelength λ_1 and λ_2 which carried out incidence from the same by this as shown in this drawing can be injected in the different direction. Conversely, the light from which the wavelength which carried out incidence from a different direction differs can also be injected in the same direction. Moreover, it is also possible to reflect the light of specific wavelength. By using such a property, it can use as the splitter of a lightwave signal, a multiplexing machine, or a filter.

[0005] The above-mentioned photograph nick crystal 1 is manufactured by the manufacture approach shown in drawing 13. First, as shown in drawing 13 (a), a resist 11 is applied to the front face of a medium 4 in a resist spreading process. A medium 4 may be formed by membrane formation on a substrate 3 (refer to drawing 12). Next, as shown in drawing 13 (b), in a patterning process, patterning of the resist 11 is carried out to a periodic configuration with a photolithography technique.

[0006] Next, as shown in drawing 13 (c), in an etching process, a medium 4 is etched by RIE (Reactive Ion Etching) etc., and pore 4a is formed. And as shown in drawing 13 (d), a resist 11 is removed in a resist removal process. If the sectional view at this time is shown in drawing 14, pore 4a is arranged periodically. Therefore, the resist removal process of the resist spreading process of drawing 13 (a) - drawing 13 (d) constitutes the pore formation process which forms periodic pore 4a. And the photograph nick crystal which has the periodic structure which consists of the medium from which a refractive index differs with a medium 4 and the air in pore 4a is obtained.

[0007] Moreover, how to form the pore periodically arranged by anodic oxidation or anodization is also learned. Drawing 15 is drawing showing the pore formation process by anodic oxidation or

anodization. The medium 4 which consists of semi-conductors, such as metals, such as aluminum and titanium, and silicon, gallium arsenide, indium arsenide, is dipped into the suitable electrolytic solution, and if it allots an anode plate and an electrical potential difference is impressed, it will be oxidized or degassed. Consequently, as shown in this drawing, pore 4a arranged regularly can be obtained.

[0008] For example, if the medium 4 which consists of the aluminum thin film or aluminum substrate formed on a substrate is anodized in the acid electrolytic solutions, such as oxalic acid, the porosity alumina layer 5 with which pore 4a which a diameter becomes from the pore which are several nm - 100nm of numbers was regularly located in a line in the shape of a triangular grid at spacing which is several nm - 100nm of numbers will be formed. Very much, pore 4a has good perpendicularity and can obtain the very high pore of an aspect ratio easily by anodic oxidation or anodization.

[0009] The photograph nick crystal which has the periodic structure which consists of the medium from which a refractive index differs with a medium 4 and the air in pore 4a by this is obtained. Moreover, by controlling applied voltage to the applied voltage in the case of anodic oxidation, in order to carry out proportionally [abbreviation], spacing of pore 4a can control spacing of pore 4a, and can acquire a desired optical property.

[0010]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, according to the manufacture approach of the above-mentioned conventional photograph nick crystal, in the thickness direction of a medium 4, the period of a medium 4 and the refractive index of air, the configuration of pore 4a, a grid class, and an array becomes the same. For this reason, in order to obtain the so-called three-dimensions photograph nick crystal which has the periodic structure by the medium of a different refractive index also in the thickness direction, for example, it is necessary to create a 2-dimensional photograph nick crystal by the above-mentioned production process, and to create the 2-dimensional photograph nick crystal which changes [period / a refractive index the path of a pore, / of a pore] with production processes same on it.

[0011] Moreover, not only a three-dimensions photograph nick crystal but the 2-dimensional photograph nick crystal which has a different optical property in the thickness direction of a medium 4 can carry out an operation of injecting the incident light which carries out incidence to the location where the thickness directions differ from the same in the different direction. as well as the case of a three-dimensions photograph nick crystal when creating such a photograph nick crystal, the same process is acquired multiple times of several lines, and there is need.

[0012] Moreover, in the manufacture approach of the photograph nick crystal which forms pore 4a by anodic oxidation or anodization, compared with the case where etching is used, there is an advantage which can form high pore 4a of an aspect ratio at few processes. However, it is difficult to install and create the photograph nick crystal with which adjustable [of the path of a pore or the period of a pore] could not be carried out in the direction of a field of a medium 4, but optical properties differed.

[0013] Therefore, the periods of a refractive index, the configuration of pore 4a, the magnitude of pore 4a, a grid class, or an array etc. differed in the thickness direction or the direction of a field, and in order to have created the photograph nick crystal which can acquire two or more optical properties, there was a problem to which cost becomes [a man day] large highly.

[0014] This invention aims at offering the manufacture approach of a photograph nick crystal that the photograph nick crystal with which optical properties differ in the thickness direction or the direction of a field can be obtained easily.

[0015]

[Means for Solving the Problem] Invention indicated by claim 1 in order to attain the above-mentioned purpose is characterized by having the 1st process which forms the base which consists of the matter with which crystal orientation differs either [at least] from an etching property in the thickness direction, and the 2nd process which forms two or more pores periodically arranged to said base.

[0016] According to this configuration, the laminating of two or more media which have a crystal orientation different, for example is carried out on a substrate, a base is formed, and two or more

pores periodically arranged by approaches, such as etching processing by anodization, anodization, and the photolithography technique and beam processing by the electron beam, are formed in the front face of a base. Thereby, directions differ, a pore is formed and the photograph nick crystal from which the period of a medium and air differs in the thickness direction by the cross section is obtained.

[0017] Moreover, invention indicated by claim 2 is characterized by forming the matter from which a refractive index differs in the thickness direction according to the 1st process in the manufacture approach of the photograph nick crystal indicated by claim 1. According to this configuration, the laminating of the 2-dimensional photograph nick crystal with which the 2-dimensional photograph nick crystal with which the medium of 1 and the air in a pore are periodically arranged in the direction of a field, and other media and air are periodically arranged in the direction of a field is periodically carried out in the thickness direction, and the photograph nick crystal which has two or more optical properties is obtained.

[0018] Moreover, invention indicated by claim 3 is characterized by making it these refractive indexes differ gradually in the thickness direction in the manufacture approach of the photograph nick crystal indicated by claim 2.

[0019] Moreover, invention indicated by claim 4 is characterized by having the 3rd process to which the cross-sectional area of said pore is expanded by etching after the 2nd process in the manufacture approach of the photograph nick crystal indicated by either claim 1 - claim 3.

[0020] According to this configuration, the laminating of two or more media which have a different etching property, for example is carried out on a substrate, a base is formed, and two or more pores periodically arranged on the surface of a base in the 2nd process are formed. If a pore is furthermore expanded by etching in the 3rd process, of the difference in an etch rate, the paths of the pore of the medium of 1 and other media will differ, and will be formed.

[0021] Moreover, invention indicated by claim 5 is equipped with the 1st process which forms the base which consists of the matter with which physical-properties values differ in the thickness direction, and the 2nd process which forms two or more pores which applied the electrical potential difference to said base, and were arranged periodically, and is characterized by carrying out adjustable [of the applied voltage] according to the part of said base.

[0022] According to this configuration, the laminating of two or more media which have a different physical-properties value in the 1st process, for example is carried out on a substrate, a base is formed, in the 2nd process, an electrical potential difference is impressed to a base, and a pore is formed of anodic oxidation or anodization. And by carrying out adjustable [of the applied voltage] according to the part of a base, the periods of a pore differ and are formed.

[0023] Moreover, invention indicated by claim 6 is equipped with the 1st process which forms the base which consists of the matter with which physical-properties values differ in the thickness direction, and the 2nd process which forms two or more pores which added the field to said base from the exterior, and were arranged periodically, and is characterized by carrying out adjustable [of the direction of said field] so that said pore may incline to the thickness direction of said base.

[0024] According to this configuration, the laminating of two or more media which have a different physical-properties value in the 1st process, for example is carried out on a substrate, a base is formed, in the 2nd process, an electrical potential difference is impressed to a base, and a pore is formed by anodic oxidation or anodization. According to the direction of a field, as for the ion accelerated by electric field, a travelling direction inclines to the direction of electric field. Thereby, the pore which inclined according to the direction of a field is formed.

[0025] Moreover, in the manufacture approach of a photograph nick crystal that invention indicated by claim 7 was indicated by claim 5 or claim 6, it is characterized by said physical-properties value being at least one of a refractive index, crystal orientation, and the etching properties.

[0026] Moreover, invention indicated by claim 8 is characterized by forming the matter from which a refractive index differs in the thickness direction according to the 1st process in the manufacture approach of the photograph nick crystal indicated by claim 5 or claim 6.

[0027] Moreover, invention indicated by claim 9 is characterized by making it these refractive

indexes differ gradually in the thickness direction in the manufacture approach of the photograph nick crystal indicated by claim 8.

[0028] Moreover, invention indicated by claim 10 is characterized by having the 1st process which forms the base which consists of the matter with which physical-properties values differ in the direction of a field, and the 2nd process which forms two or more pores periodically arranged to said base.

[0029] According to this configuration, two or more pores periodically arranged by anodization, etching processing, etc. are formed by arranging on juxtaposition two or more media which have a different physical-properties value in the direction of a field, and forming a base. Thereby, the medium of 1 and the air in a pore can obtain the photograph nick crystal which has two or more optical properties that the 2-dimensional photograph nick crystal with which the 2-dimensional photograph nick crystal with which it is periodically arranged in the direction of a field, and other media and air are periodically arranged in the direction of a field was installed in the direction of a field.

[0030] Moreover, in the manufacture approach of a photograph nick crystal that invention indicated by claim 11 was indicated by claim 10, it is characterized by said physical-properties value being at least one of a refractive index, crystal orientation, and the etching properties.

[0031] Moreover, invention indicated by claim 12 is characterized by adding a field to a medium from the exterior and having the pore formation process which cuts two or more pores periodically arranged on the front face of said medium. According to this configuration, an electrical potential difference is impressed to a medium and a pore is formed by anodic oxidation or anodization, for example. According to the direction of a field, as for the ion accelerated by electric field, a travelling direction inclines to the direction of electric field. Thereby, the pore which inclined according to the direction of a field is formed.

[0032] moreover, the electrical potential difference from which invention indicated by claim 13 differs according to the part of a medium — in addition, it is characterized by having the pore formation process which cuts in the front face of said medium two or more pores arranged periodically. According to this configuration, the substrate in which the medium was formed is dipped into a predetermined solution, and anodic oxidation or anodization is performed by arranging a substrate on an anode plate and impressing an electrical potential difference. Thereby, a base is oxidized or degassed from a front face, and the pore allotted periodically is formed in a base. At this time, the electrical potential difference which changes with parts of a medium is impressed, and adjustable [of the period of a pore] is carried out.

[0033] Moreover, invention indicated by claim 14 is characterized by forming said medium on the substrate which consists of electrical resistance materials in the manufacture approach of the photograph nick crystal indicated by claim 13. According to this configuration, according to the distance from the impressing point of an electrical potential difference, a voltage drop is carried out by resistance of a substrate, and adjustable [of the electrical potential difference impressed to a medium] is carried out.

[0034] Moreover, invention indicated by claim 15 is characterized by forming said medium on the substrate formed with different resistance for every field in the manufacture approach of the photograph nick crystal indicated by claim 13. According to this configuration, the electrical potential difference impressed to a substrate carries out a voltage drop by resistance of a substrate, and adjustable [of the electrical potential difference impressed to a medium for every field] is carried out.

[0035] Moreover, invention indicated by claim 16 is characterized by performing said pore formation process by anodic oxidation or anodization in the manufacture approach of the photograph nick crystal indicated by either claim 12 – claim 13.

[0036]

[Embodiment of the Invention] The operation gestalt of this invention is explained with reference to a drawing below. About the same part as drawing 12 of the conventional example – drawing 15 of explanation, the same sign is attached for convenience. Drawing 1 is the sectional view showing the manufacture approach of the photograph nick crystal of the 1st operation gestalt. As shown in drawing 1 (a), the laminating of the media 6 and 7 by which etching properties differ

on a substrate 3 is periodically carried out in the thickness direction, and the base 21 which consists of multilayers is formed.

[0037] Media 6 and 7 can be formed by sputtering, vacuum evaporation, or CVD, may carry out a laminating using a different ingredient, and may dope other ingredients during membrane formation of a desired ingredient. Next, as shown in drawing 13 mentioned above, in a pore formation process, patterning of the resist 11 is carried out to a request configuration with a photolithography technique, and it etches by RIE etc.

[0038] Thereby, as shown in drawing 1 (b), the pores 6a and 7a which are cut in the thickness direction of a base 21 and which were arranged periodically can be obtained. Consequently, the laminating of the photograph nick crystal which consists of a medium 6 and the air in pore 6a, and a medium 7 and the photograph nick crystal which consists of the air in pore 7a is carried out. Next, the path of Pores 6a and 7a can be made large by being immersed in a predetermined etching reagent in a pore expansion process. Since it has the etching property that media 6 and 7 differ, at this time, as shown in drawing 1 (c), Pores 6a and 7a can be made into a different path.

[0039] Thereby, when the refractive indexes of media 6 and 7 differ, at cross-section G-G, media 6 and 7 are periodically arranged in the thickness direction, and the photograph nick crystal which has the periodic structure of false three dimensions where a medium 6 and air were periodically allotted in the thickness direction can be obtained by cross-section H-H.

[0040] Moreover, since the pores 6a and 7a of a path which is different even if the refractive index of media 6 and 7 was the same are formed, in drawing 1 (c), an optical property which is different according to the incidence location of incident light like arrow heads X1 and X2 is acquired.

[0041] Therefore, as shown in this drawing, the photograph nick crystal which multilayered the 2-dimensional photograph nick crystal which has an optical property which is different according to the incidence location of incident light like arrow heads X1 and X2, and the photograph nick crystal of three dimensions can be created by low cost with 1 time of a pore formation process. Moreover, as shown in above-mentioned drawing 15, even if anodic oxidation or anodization performs a pore formation process, it can acquire the same effectiveness.

[0042] Next, drawing 2 (a) and (b) are the perspective views and sectional views showing the manufacture approach of the photograph nick crystal of the 2nd operation gestalt. Pore 22a is formed by the pore formation process using the anodic oxidation and anodization which show this operation gestalt to etching or drawing 15 shown in the base 22 which has refractive-index distribution in the thickness direction (the inside of drawing, the vertical direction) at above-mentioned drawing 13.

[0043] The base 22 which has refractive-index distribution can dope other matter during membrane formation of a desired ingredient, and can create it by carrying out adjustable [of the amount of doping] gradually. Moreover, the matter which dopes may be changed gradually and the ingredient which forms membranes may be changed gradually.

[0044] Thus, the photograph nick crystal 1 obtained can create the photograph nick crystal which has an optical property which is different according to the incidence location of incident light like arrow heads X1 and X2 by low cost with 1 time of a pore formation process. Moreover, the path of pore 22a can be made large by being immersed in a predetermined etching reagent in a pore expansion process like the 1st operation gestalt. If a base 22 has distribution of an etching property in the thickness direction at this time, as shown in drawing 3, pore 22a can be made into a different path in the thickness direction.

[0045] The photograph nick crystal which has a further different optical property according to the incidence location of the thickness direction of incident light by this can be obtained. Moreover, like the 1st operation gestalt, if etching properties differ even if the refractive index of a base 22 is the same as that of the thickness direction, adjustable [of the aperture] can be carried out in the thickness direction according to a pore expansion process, and a different optical property according to an incidence location can be acquired.

[0046] Next, drawing 4 is the top view showing the manufacture approach of the photograph nick crystal of the 3rd operation gestalt. As this operation gestalt is shown in drawing 4 (a), the media

6 and 7 by which refractive indexes differ are installed in the direction of a field (direction parallel to space), and the base 23 is formed. And as shown in drawing 4 (b), Pores 6a and 7a are formed in a base 23 by the pore formation process using the anodic oxidation and anodization which are shown in etching shown in above-mentioned drawing 13, or drawing 15.

[0047] The base 23 put side by side in the direction of a field can create the media 6 and 7 by which refractive indexes differ by the following approaches. First, a medium 6 is formed by sputtering etc. Next, patterning of the field of a medium 7 is carried out by the photolithography, and it is etched. Next, a medium 7 is formed and the field of a medium 6 is etched by the thickness of a medium 7.

[0048] According to this operation gestalt, the 2-dimensional photograph nick crystal with which the 2-dimensional photograph nick crystal with which the air and the medium 6 in pore 6a were arranged periodically, and the air and the medium 7 in pore 7a were arranged periodically is arranged on the location where it differs within the same field. The photograph nick crystal which has an optical property which is different by this according to the incidence location of the incident light which carries out incidence in the location where it differs within the same side can be created by low cost with 1 time of a pore formation process.

[0049] Moreover, the photograph nick crystal of drawing 4 (b) can make large the path of Pores 6a and 7a by being immersed in a predetermined etching reagent in a pore expansion process. If it has the etching property that media 6 and 7 differ, at this time, as shown in drawing 4 (c), Pores 6a and 7a can be made into a different path.

[0050] By this, when etching performs a pore formation process, adjustable [of the path of Pores 6a and 7a] can be carried out by patterning, but when anodic oxidation or anodization performs, it can carry out adjustable [of the path of Pores 6a and 7a] according to a pore expansion process. Therefore, the photograph nick crystal which has a further different optical property according to the incidence location of the direction of a field of incident light can be obtained.

[0051] Moreover, like the 1st and 2nd operation gestalt, the media 6 and 7 of a base 23 may have a the same refractive index, even when etching properties differed and anodic oxidation or anodization performs a pore formation process, adjustable [of the aperture] can be carried out in the same field according to a pore expansion process, and an optical property which is different to the incident light which carries out incidence in the incidence location where the directions of a field differ can be acquired.

[0052] Moreover, as shown in drawing 11, the waveguide by the medium 7 can be constituted by arranging a medium 7 on a L character mold, and forming a base 25. Therefore, at a Prior art, waveguide without the loss crooked in the impossible acute angle can be created by low cost.

[0053] Next, the 4th operation gestalt is explained. In case a desired medium is formed on a substrate by sputtering, vacuum evaporatio, or CVD, a substrate 3 is made to incline, among drawing, as shown in drawing 5 (a), if a medium 8 is formed from the upper part, the direction of crystallographic-axis 8b will incline to a substrate 3, and a medium 8 will be formed. If a pore is formed in this medium 8 by etching, anodic oxidation, etc., as shown in drawing 5 (b), pore 8a is formed according to crystallographic-axis 8b, and pore 8a inclines to a substrate 3.

[0054] The 4th operation gestalt using this property is shown in drawing 6 and drawing 7. Drawing 6 (a), (b), and (c) are sectional views respectively parallel to the Ath page of drawing 7, the Bth page, and C side. With this operation gestalt, the laminating of the media 9p, 9q, 9r, and 9s by which the directions of crystallographic-axis 9b differ is carried out, and the base 24 is formed.

[0055] Media 9p, 9q, 9r, and 9s are in the condition made to incline so that the point p in drawing 6 (c), Point q, Point r, and Point s may be separated from space to the upper part, and are formed in the direction of crystallographic-axis 9b different, respectively by forming membranes from the upper part distant from space.

[0056] And pore 9a is formed by the pore formation process using the anodic oxidation and anodization which are shown in etching shown in a base 24 at above-mentioned drawing 13, or drawing 15. Since pore 9a is formed according to crystallographic-axis 9b at this time, it becomes spiral as shown in drawing 7.

[0057] Each class which consists of the media 9p-9s by which the laminating was carried out forms the periodic structure of the direction of a field where the refractive index of a medium, the path of a pore, the period of a pore, etc. are the same. In the thickness direction of a base 24, it becomes the periodic structure where Media 9p-9s were periodically arranged as the air in pore 9a, every four layers. Therefore, the photograph nick crystal of three dimensions can be created by low cost with 1 time of a pore formation process. In addition, pore 9a can be formed more for the inclination direction of a base 24 in the shape of [smoother] a spiral fragmentation or by making it change continuously and forming membranes.

[0058] Moreover, the photograph nick crystal which has a more complicated optical property can be obtained by carrying out the laminating of the medium by which the directions of a crystallographic axis differ, and forming it as bases 21-23 of the 1st - the 3rd operation gestalt which are shown in above-mentioned drawing 1 - drawing 4 .

[0059] Next, the 5th operation gestalt is explained. Drawing 8 (a) is drawing showing the condition of having formed pore 10a with the pore formation process using the anodic oxidation or anodization which forms the media 10, such as aluminum, by membrane formation etc. on a substrate 3, and is shown in above-mentioned drawing 15 . At this time, the field is added to the medium 10 from the exterior.

[0060] If the enlarged drawing of pore 10a is shown in drawing 8 (b), in anodizing, for example, an electrical potential difference is impressed to a substrate 3, and electric field E act on the oxygen ion 16 in the electrolytic solution. Thereby, the oxygen ion 16 investigates pore 10a in the direction of electric field E, and forms oxide 10b, such as a porosity alumina, in it.

Furthermore, to the oxygen ion 16, electromagnetic force F works among drawing by adding a field in the direction perpendicular to space at a longitudinal direction. Thereby, the oxygen ion 16 inclines and runs to the front face of a medium 10, and pore 10a inclines and it is formed.

[0061] Therefore, it can perform forming a spiral pore like the 4th operation gestalt shown in above-mentioned drawing 7 by carrying out adjustable [of the direction of the field applied to a medium 10 in the case of anodic oxidation or anodization]. Consequently, the photograph nick crystal of three dimensions can be created by low cost with 1 time of a pore formation process.

[0062] Moreover, in case a pore is formed for the bases 21-24 of the 1st - the 4th operation gestalt which are shown in above-mentioned drawing 1 - drawing 7 by anodic oxidation or anodization, the photograph nick crystal which has a more complicated optical property can be obtained by applying a field to bases 21-24.

[0063] Next, drawing 9 is drawing showing the 6th operation gestalt. On a substrate 3, the media 10, such as aluminum, are formed of membrane formation etc., and the power source 13 which impresses the electrical potential difference of a substrate 3 in the case of anodic oxidation or anodization is connected to the edge of a substrate 3. A substrate 3 consists of electrical resistance materials, such as carbon and an iron nickel alloy, and has different resistance according to the distance from the impressing point Q of the electrical potential difference by the power source 13.

[0064] For this reason, if the anodic oxidation or anodization which impresses an electrical potential difference to a substrate 3, and is shown in above-mentioned drawing 15 is performed, an electrical potential difference with it will be impressed from the impressing point Q in a near location. [a small voltage drop and] [high to a medium 10] In a location distant from the impressing point Q, an electrical potential difference with it is impressed. [a large voltage drop and] [low to a medium 10]

[0065] The period P of pore 10a has so small that it goes to an arrow-head D 2-way in order to carry out proportionally [abbreviation] at the electrical potential difference impressed the period P of pore 10a, and the period P of pore 10a becomes large, so that it goes in the arrow-head D1 direction. Therefore, by forming a substrate 3 with the electrical resistance materials which have desired resistance, the period P of pore 10a can obtain the period of the request which changed gradually, and can obtain the photograph nick crystal which has a complicated optical property.

[0066] Moreover, in case a pore is formed for the bases 21-24 of the 1st - the 4th operation gestalt which are shown in above-mentioned drawing 1 - drawing 7 by anodic oxidation or

anodization, the photograph nick crystal which has a more complicated optical property can be obtained by forming a substrate 3 from the electrical resistance materials which have predetermined resistance.

[0067] Next, drawing 10 (a) and (b) are the side elevations and top views showing the 7th operation gestalt. The top face of the conductive substrate 3 is divided into fields R1-R5 by the insulator 14 of SiO₂ grade. The substrate layer 12 which consists of electrical resistance materials on a substrate 3 is formed in each fields R1-R5, and the media 10, such as aluminum, are formed of membrane formation etc. on the substrate layer 12. A power source 13 is connected to a substrate 3, and the anodic oxidation or anodization shown in above-mentioned drawing 15 is performed by impressing an electrical potential difference to a medium 10.

[0068] The substrate layer 12 of each fields R1-R5 is formed so that resistance may differ, and a different electrical potential difference is impressed to the medium 10 of each fields R1-R5 by the voltage drop by the substrate layer 12. in order that the period P of pore 10a may carry out proportionally [abbreviation] at the electrical potential difference impressed -- each field R1-pore 10a of a different period for every R5 is formed. The substrate layer 12 of each fields R1-R5 may carry out adjustable [of the resistance] with the thickness of electrical resistance materials, as shown in this drawing, and it may form different electrical resistance materials.

[0069] Thereby, with the 6th operation gestalt shown in above-mentioned drawing 9, it can carry out adjustable [of the period of pore 10a] from the impressing point Q for every field of a desired configuration to adjustable [of the period P of a pore] being carried out to concentric circular. Therefore, the photograph nick crystal which has a different optical property according to a different incidence location in the direction of a field of two or more incident light can be obtained.

[0070] Moreover, the photograph nick crystal which has a more complicated optical property can be obtained by forming the substrate layer which was divided between a substrate 3 and bases 21-24 in the bases 21-24 of the 1st - the 4th operation gestalt which are shown in above-mentioned drawing 1 - drawing 7 when forming a pore by anodic oxidation or anodization and which has predetermined resistance for every field.

[0071]

[Effect of the Invention] According to invention of claim 1, by cutting two or more pores arranged periodically, a path differs on the front face of the base with which crystal orientation differs from an etching property in the thickness direction from a direction, and a pore is formed in it. The photograph nick crystal which has a different optical property according to the incidence location of incident light by this can be created by low cost with 1 time of a pore formation process.

[0072] Moreover, since the matter with which refractive indexes differ is formed in the thickness direction according to invention of claim 2 and claim 3 The 2-dimensional photograph nick crystal with which the medium of 1 and the air in a pore are periodically arranged in the direction of a field, The laminating of the 2-dimensional photograph nick crystal periodically arranged in the direction of a field is periodically carried out in the thickness direction, and other media and air can create the photograph nick crystal which has two or more optical properties by low cost with 1 time of a pore formation process.

[0073] Moreover, since the cross-sectional area of a pore is expanded by etching according to invention of claim 4, if the pore formed in two or more media which have a different etching property is expanded by etching, it will be formed so that the path of the pore of the medium of 1 may differ from the path of the pore of other media by the difference in an etch rate. Therefore, the photograph nick crystal which has a different optical property in the thickness directions, such as a three-dimensions photograph nick crystal, can be obtained easily.

[0074] Moreover, according to invention of claim 5, adjustable [of the period of a pore] is carried out by carrying out adjustable [of the applied voltage] according to the part of a base, and forming a pore. Therefore, the period of the request from which the period of a pore changed gradually is obtained, and the photograph nick crystal which has a complicated optical property can be created by low cost with 1 time of a pore formation process.

[0075] Moreover, according to invention of claim 6, the pore which inclined in order that

electromagnetic force might work to oxygen ion etc. is formed by forming a pore, applying a field from the exterior. Therefore, it can perform forming a spiral pore by carrying out adjustable [of the direction of a field]. Consequently, the photograph nick crystal of three dimensions can be created by low cost with 1 time of a pore formation process.

[0076] Moreover, according to invention of claim 7 - claim 9, since a base has a different refractive index in the thickness direction, crystal orientation, and an etching property, it can create a more complicated photograph nick crystal.

[0077] Moreover, according to invention of claim 10 and claim 11, by cutting two or more pores arranged periodically, a path differs on the front face of the base with which physical-properties values, such as a refractive index, differ in the direction of a field from a direction, and a pore is formed in it. The photograph nick crystal which has an optical property which is different by this according to the incident light which carries out incidence in the location where it differs within the same side can be created by low cost with 1 time of a pore formation process.

[0078] Moreover, according to invention of claim 12, the pore which inclined in order that electromagnetic force might work to oxygen ion etc. is formed by forming a pore, applying a field from the exterior. Therefore, it can perform forming a spiral pore by carrying out adjustable [of the direction of a field]. Consequently, the photograph nick crystal of three dimensions can be created by low cost with 1 time of a pore formation process.

[0079] Moreover, according to invention of claim 13, adjustable [of the period of a pore] is carried out by carrying out adjustable [of the applied voltage] according to the part of a base, and forming a pore. Therefore, the period of the request from which the period of a pore changed gradually is obtained, and the photograph nick crystal which has a complicated optical property can be created by low cost with 1 time of a pore formation process.

[0080] Moreover, according to invention of claim 14, by using electrical resistance materials for a substrate and performing anodic oxidation or anodization, adjustable [of the electrical potential difference impressed to a medium] can be carried out, and it can carry out adjustable [of the period of a pore] easily.

[0081] Moreover, according to invention of claim 15, it can carry out adjustable [of the period of a pore] easily by establishing the substrate of having resistance to a medium for every field, and performing anodic oxidation or anodization. Moreover, the pore of a desired period can be formed for every field.

[0082] Moreover, according to invention of claim 16, it can carry out adjustable [of the direction or period of a pore] easily by performing anodic oxidation or anodization and forming a pore.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] The manufacture approach of the photograph nick crystal characterized by having the 1st process which forms the base which consists of the matter with which crystal orientation differs either [at least] from an etching property in the thickness direction, and the 2nd process which forms two or more pores periodically arranged to said base.

[Claim 2] The manufacture approach of the photograph nick crystal according to claim 1 characterized by forming the matter with which refractive indexes differ in the thickness direction according to the 1st process.

[Claim 3] The manufacture approach of the photograph nick crystal according to claim 2 characterized by making it these refractive indexes differ gradually in the thickness direction.

[Claim 4] The manufacture approach of the photograph nick crystal according to claim 1 to 3 characterized by having the 3rd process to which the cross-sectional area of said pore is expanded by etching after the 2nd process.

[Claim 5] The manufacture approach of the photograph nick crystal characterized by having had the 1st process which forms the base which consists of the matter with which physical-properties values differ in the thickness direction, and the 2nd process which forms two or more pores which applied the electrical potential difference to said base, and were arranged periodically, and carrying out adjustable [of the applied voltage] according to the part of said base.

[Claim 6] The manufacture approach of the photograph nick crystal characterized by carrying out adjustable [of the direction of said field] so that it may have the 1st process which forms the base which consists of the matter with which physical-properties values differ in the thickness direction, and the 2nd process which forms two or more pores which added the field to said base from the exterior, and were arranged periodically and said pore may incline to the thickness direction of said base.

[Claim 7] Said physical-properties value is the manufacture approach of the photograph nick crystal according to claim 5 or 6 characterized by being at least one of a refractive index, crystal orientation, and the etching properties.

[Claim 8] The manufacture approach of the photograph nick crystal according to claim 5 or 6 characterized by forming the matter with which refractive indexes differ in the thickness direction according to the 1st process.

[Claim 9] The manufacture approach of the photograph nick crystal according to claim 8 characterized by making it these refractive indexes differ gradually in the thickness direction.

[Claim 10] The manufacture approach of the photograph nick crystal by which it is having-1st process [which forms the base which consists of the matter with which physical-properties values differ in the direction of a field], and 2nd process which forms two or more pores periodically arranged to said base characterized.

[Claim 11] Said physical-properties value is the manufacture approach of the photograph nick crystal according to claim 10 characterized by being at least one of a refractive index, crystal orientation, and the etching properties.

[Claim 12] The manufacture approach of the photograph nick crystal characterized by adding a

field to a medium from the exterior and having the pore formation process which cuts two or more pores periodically arranged on the front face of said medium.

[Claim 13] a different electrical potential difference according to the part of a medium -- in addition, the manufacture approach of the photograph nick crystal characterized by having the pore formation process which cuts in the front face of said medium two or more pores arranged periodically.

[Claim 14] The manufacture approach of the photograph nick crystal according to claim 13 characterized by forming said medium on the substrate which consists of electrical resistance materials.

[Claim 15] The manufacture approach of the photograph nick crystal according to claim 13 characterized by forming said medium on the substrate formed with different resistance for every field.

[Claim 16] Claim 12 characterized by performing said pore formation process by anodic oxidation or anodization - claim 15 are, and it rubs, and is the manufacture approach of a photograph nick crystal given in **.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the sectional view showing the manufacture approach of the photograph nick crystal of the 1st operation gestalt of this invention.

[Drawing 2] It is drawing showing the pore formation process of the photograph nick crystal of the 2nd operation gestalt of this invention.

[Drawing 3] It is the sectional view showing the pore expansion process of the photograph nick crystal of the 2nd operation gestalt of this invention.

[Drawing 4] It is the sectional view showing the manufacture approach of the photograph nick crystal of the 3rd operation gestalt of this invention.

[Drawing 5] It is the sectional view showing the manufacture approach of the photograph nick crystal of the 4th operation gestalt of this invention.

[Drawing 6] It is the sectional view showing the manufacture approach of the photograph nick crystal of the 4th operation gestalt of this invention.

[Drawing 7] It is the perspective view showing the manufacture approach of the photograph nick crystal of the 4th operation gestalt of this invention.

[Drawing 8] It is the sectional view showing the manufacture approach of the photograph nick crystal of the 5th operation gestalt of this invention.

[Drawing 9] It is the sectional view showing the manufacture approach of the photograph nick crystal of the 6th operation gestalt of this invention.

[Drawing 10] It is drawing showing the manufacture approach of the photograph nick crystal of the 7th operation gestalt of this invention.

[Drawing 11] It is drawing showing other photograph nick crystals formed by the manufacture approach of the photograph nick crystal of the 3rd operation gestalt of this invention.

[Drawing 12] It is the perspective view showing the conventional photograph nick crystal.

[Drawing 13] It is the perspective view showing the manufacture approach of the conventional photograph nick crystal.

[Drawing 14] It is the sectional view showing the conventional photograph nick crystal.

[Drawing 15] It is the perspective view showing other manufacture approaches of the conventional photograph nick crystal.

[Description of Notations]

- 1 Photograph Nick Crystal
- 2 Lightguide
- 3 Substrate
- 4, 6-10 Medium
- 5 Porosity Alumina Layer
- 11 Resist
- 12 Substrate Layer
- 13 Power Source
- 14 Insulator
- 16 Oxygen Ion
- 21-24 Base

[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-272566
(P2001-272566A)

(43) 公開日 平成13年10月5日 (2001. 10. 5)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームコード [*] (参考)●	
G 0 2 B	6/13	G 0 2 B	1/02	2 H 0 4 7
	1/02		5/18	2 H 0 4 9
	5/18		5/30	
	5/30		6/12	M
	6/12			Z
審査請求 未請求 請求項の数16 O L (全 11 頁) 最終頁に続く				

審査請求 未請求 請求項の数16 O L (全 11 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-90749 (P2000-90749)

(22) 出願日 平成12年3月27日 (2000. 3. 27)

(71) 出願人 000006079

ミノルタ株式会社

大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号

大阪国際ビル

(72) 発明者 横山 光

大阪市中央区安土町二丁目3番13号 大阪

国際ビル ミノルタ株式会社内

(72) 発明者 北岡 賢治

大阪市中央区安土町二丁目3番13号 大阪

国際ビル ミノルタ株式会社内

(74) 代理人 100085501

弁理士 佐野 静夫 (外1名)

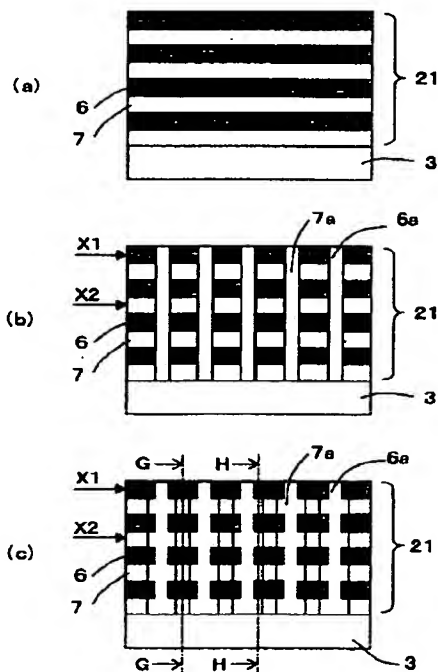
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 フォトニック結晶の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 部位によって光学的特性の異なるフォトニック結晶を簡単に得ることのできるフォトニック結晶の製造方法を提供する。

【解決手段】 異なるエッチング特性及び屈折率を有する複数の媒質6、7を基3板上に積層して基体21が形成され、基体21の表面に周期的に配列される複数の孔部6a、6bをエッチングや陽極酸化等により形成する。その後、エッチングにより孔部6a、7aの径を拡大する。これにより、断面G-Gでは媒質6と媒質7とが厚み方向に周期的に配列され、断面H-Hでは媒質6と空気とが厚み方向に周期的に配列された擬似的な三次元のフォトニック結晶が得られる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 厚み方向に結晶軸方向及びエッチング特性の少なくとも一方が異なる物質から成る基体を形成する第1工程と、

前記基体に周期的に配列した複数の孔部を形成する第2工程と、
を備えたことを特徴とするフォトニック結晶の製造方法。

【請求項2】 第1工程によって厚み方向に屈折率の異なる物質を形成したことを特徴とする請求項1に記載のフォトニック結晶の製造方法。

【請求項3】 該屈折率が厚み方向に徐々に異なるようにしたことを特徴とする請求項2に記載のフォトニック結晶の製造方法。

【請求項4】 第2工程後、前記孔部の断面積をエッチングにより拡大する第3工程を備えたことを特徴とする請求項1～請求項3のいずれかに記載のフォトニック結晶の製造方法。

【請求項5】 厚み方向に物性値の異なる物質から成る基体を形成する第1工程と、
前記基体に電圧を加えて周期的に配列した複数の孔部を形成する第2工程と、

を備え、前記基体の部位に応じて印加電圧を可変したことを特徴とするフォトニック結晶の製造方法。

【請求項6】 厚み方向に物性値の異なる物質から成る基体を形成する第1工程と、
前記基体に外部から磁界を加えて周期的に配列した複数の孔部を形成する第2工程と、
を備え、前記基体の厚み方向に対して前記孔部が傾斜するように前記磁界の方向を可変したことを特徴とするフォトニック結晶の製造方法。

【請求項7】 前記物性値は屈折率、結晶軸方向及びエッチング特性の少なくとも1つであることを特徴とする請求項5または請求項6に記載のフォトニック結晶の製造方法。

【請求項8】 第1工程によって厚み方向に屈折率の異なる物質を形成したことを特徴とする請求項5または請求項6に記載のフォトニック結晶の製造方法。

【請求項9】 該屈折率が厚み方向に徐々に異なるようにしたことを特徴とする請求項8に記載のフォトニック結晶の製造方法。

【請求項10】 面方向に物性値の異なる物質から成る基体を形成する第1工程と、
前記基体に周期的に配列した複数の孔部を形成する第2工程と、
を備えたことを特徴とするフォトニック結晶の製造方法。

【請求項11】 前記物性値は屈折率、結晶軸方向及びエッチング特性の少なくとも1つであることを特徴とする請求項10に記載のフォトニック結晶の製造方法。

【請求項12】 媒質に外部から磁界を加えて、前記媒

質の表面に周期的に配列した複数の孔部を凹設する孔部形成工程を有することを特徴とするフォトニック結晶の製造方法。

【請求項13】 媒質の部位に応じて異なる電圧を加えて、前記媒質の表面に周期的に配列した複数の孔部を凹設する孔部形成工程を有することを特徴とするフォトニック結晶の製造方法。

【請求項14】 前記媒質を抵抗材料から成る基板上に形成したことを特徴とする請求項13に記載のフォトニック結晶の製造方法。

【請求項15】 前記媒質を領域毎に異なる抵抗値で形成される下地上に形成したことを特徴とする請求項13に記載のフォトニック結晶の製造方法。

【請求項16】 前記孔部形成工程を陽極酸化または陽極化成により行うことを特徴とする請求項12～請求項15のいずれかに記載のフォトニック結晶の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、屈折率の異なる複数の媒質を周期的に配置したフォトニック結晶の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】屈折率の異なる複数の媒質を周期的に配置したフォトニック結晶は図12に示すような構造になっている。フォトニック結晶1は基板3上に屈折率の異なる媒質2a、2bが周期的に配列されている。媒質2a、2bから成る光導波層2の屈折率を基板3の屈折率よりも大きくすることにより、光導波層2は屈折率の小さい上部の空気層と基板3とに挟まれるため、光導波層2に入射した光は光導波層2内に閉じこめられて導波する。

【0003】フォトニック結晶1は屈折率分散の異方性が生じるという性質を有している。媒質2a、2bの屈折率、円柱や角柱等の媒質2a、2bの形状、媒質2a、2bの大きさ、三角格子や正方格子等の格子種類或いは配列の周期を適切に選択することにより、所望の波長や偏光方向の光に対して異なる光学的特性を得ることができる。

【0004】これにより、同図に示すように例えば、同一方向から入射した波長 λ_1 、 λ_2 の光を異なる方向に射出することができる。逆に異なる方向から入射した波長の異なる光を同一方向に射出することもできる。また、特定の波長の光を反射させることも可能である。このような性質を利用することで、光信号の分波器や合波器、或いはフィルターとして用いることができる。

【0005】上記のフォトニック結晶1は図13に示す製造方法により製造される。まず、図13(a)に示すように、レジスト塗布工程において媒質4の表面にレジスト11を塗布する。媒質4は、基板3(図12参照)上に成膜により形成してもよい。次に、図13(b)に

示すようにバタニング工程において、フォトリソグラフィ技術によりレジスト11を周期的な形状にバタニングする。

【0006】次に、図13(c)に示すようにエッチング工程において、RIE(Reactive Ion Etching)等により媒質4をエッチングして孔部4aを形成する。そして、図13(d)に示すようにレジスト除去工程においてレジスト11を除去する。この時の断面図を図14に示すと、孔部4aが周期的に配列されている。従って、図13(a)のレジスト塗布工程～図13(d)のレジスト除去工程は周期的な孔部4aを形成する孔部形成工程を構成している。そして、媒質4と孔部4a内の空気とにより屈折率の異なる媒質から成る周期構造を有するフォトニック結晶が得られる。

【0007】また、陽極酸化または陽極化成により周期的に配列される孔部を形成する方法も知られている。図15は、陽極酸化または陽極化成による孔部形成工程を示す図である。アルミニウム、チタン等の金属や、シリコン、ガリウム砒素、インジウム砒素等の半導体から成る媒質4は、適当な電解液中に浸漬し、陽極に配して電圧を印加すると酸化または化成する。その結果、同図に示すように、規則正しく配列される孔部4aを得ることができる。

【0008】例えば基板上に形成されるアルミニウム薄膜或いはアルミニウム基板から成る媒質4をシュウ酸等の酸性電解液中で陽極酸化すると、直径が数nm～数100nmの細孔からなる孔部4aが数nm～数100nmの間隔で三角格子状に規則正しく並んだ多孔質アルミナ層5が形成される。孔部4aは非常に垂直性がよく、陽極酸化または陽極化成によってアスペクト比の極めて高い孔部を容易に得ることができる。

【0009】これにより、媒質4と孔部4a内の空気とにより屈折率の異なる媒質から成る周期構造を有するフォトニック結晶が得られる。また、孔部4aの間隔は陽極酸化の際の印加電圧に略比例するため、印加電圧を制御することによって孔部4aの間隔を制御し、所望の光学的特性を得ることができる。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記の従来のフォトニック結晶の製造方法によると、媒質4の厚み方向において、媒質4及び空気の屈折率、孔部4aの形状、格子種類及び配列の周期が同じになる。このため、例えば、厚み方向にも異なる屈折率の媒質による周期構造を有するいわゆる三次元フォトニック結晶を得るには、上記の製造工程により二次元のフォトニック結晶を作成し、その上に同様の製造工程により屈折率、孔部の径、孔部の周期等の異なる二次元のフォトニック結晶を作成する必要がある。

【0011】また、三次元フォトニック結晶に限らず、媒質4の厚み方向に異なる光学的特性を有する二次元フ

ォトニック結晶は、厚み方向の異なる位置に同一方向から入射する入射光を異なる方向に射出する等の作用をさせることができる。このようなフォトニック結晶を作成する場合も三次元フォトニック結晶の場合と同じように、同様の工程を複数回行う必要がある。

【0012】また、陽極酸化または陽極化成によって孔部4aを形成するフォトニック結晶の製造方法の場合には、エッチングを用いる場合に比べて、アスペクト比の高い孔部4aを少ない工程で形成することができる利点がある。しかし、媒質4の面方向に孔部の径や孔部の周期を可変することができず光学的特性の異なったフォトニック結晶を並設して作成することが困難である。

【0013】従って、厚み方向や面方向に屈折率、孔部4aの形状、孔部4aの大きさ、格子種類或いは配列の周期等が異なり、複数の光学的特性を得ることのできるフォトニック結晶を作成するには、工数が大きくコストが高くなる問題があった。

【0014】本発明は、厚み方向や面方向に光学的特性の異なるフォトニック結晶を簡単に得ることのできるフォトニック結晶の製造方法を提供することを目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために請求項1に記載された発明は、厚み方向に結晶軸方向及びエッチング特性の少なくとも一方が異なる物質から成る基体を形成する第1工程と、前記基体に周期的に配列した複数の孔部を形成する第2工程と、を備えたことを特徴としている。

【0016】この構成によると、例えば異なる結晶軸方向を有する複数の媒質を基板上に積層して基体が形成され、基体の表面に陽極酸化、陽極化成、フォトリソグラフィ技術によるエッチング加工、電子ビームによるビーム加工等の方法で周期的に配列される複数の孔部が形成される。これにより、孔部は方向が異なって形成され、断面によって媒質と空気の周期が厚み方向に異なるフォトニック結晶が得られる。

【0017】また請求項2に記載された発明は、請求項1に記載されたフォトニック結晶の製造方法において、第1工程によって厚み方向に屈折率の異なる物質を形成したことを特徴としている。この構成によると、一の媒質と孔部内の空気とが面方向に周期的に配列される二次元フォトニック結晶と、他の媒質と空気とが面方向に周期的に配列される二次元フォトニック結晶とが厚み方向に周期的に積層され、複数の光学的特性を有するフォトニック結晶が得られる。

【0018】また請求項3に記載された発明は、請求項2に記載されたフォトニック結晶の製造方法において、該屈折率が厚み方向に徐々に異なるようにしたことを特徴としている。

【0019】また請求項4に記載された発明は、請求項

1～請求項3のいずれかに記載されたフォトニック結晶の製造方法において、第2工程後、前記孔部の断面積をエッチングにより拡大する第3工程を備えたことを特徴としている。

【0020】この構成によると、例えば、異なるエッチング特性を有する複数の媒質を基板上に積層して基体形成され、第2工程において基体の表面に周期的に配列される複数の孔部が形成される。更に第3工程においてエッチングにより孔部を拡大すると、エッチング速度の違いによって一の媒質と他の媒質との孔部の径が異な

て形成される。
【0021】また請求項5に記載された発明は、厚み方向に物性値の異なる物質から成る基体を形成する第1工程と、前記基体に電圧を加えて周期的に配列した複数の孔部を形成する第2工程と、を備え、前記基体の部位に応じて印加電圧を可変したことを特徴としている。

【0022】この構成によると、例えば、第1工程において異なる物性値を有する複数の媒質を基板上に積層して基体を形成し、第2工程において基体に電圧を印加して陽極酸化または陽極化成により孔部が形成される。そして、基体の部位に応じて印加電圧を可変することにより、孔部の周期が異な

って形成される。
【0023】また請求項6に記載された発明は、厚み方向に物性値の異なる物質から成る基体を形成する第1工程と、前記基体に外部から磁界を加えて周期的に配列した複数の孔部を形成する第2工程と、を備え、前記基体の厚み方向に対して前記孔部が傾斜するように前記磁界の方向を可変したことを特徴としている。

【0024】この構成によると、例えば、第1工程において異なる物性値を有する複数の媒質を基板上に積層して基体を形成し、第2工程において基体に電圧を印加して陽極酸化または陽極化成により孔部を形成する。電界により加速されたイオンは磁界の方向に応じて進行方向が電界方向に対して傾斜する。これにより、磁界の方向に応じて傾斜した孔部が形成される。

【0025】また請求項7に記載された発明は、請求項5または請求項6に記載されたフォトニック結晶の製造方法において、前記物性値は屈折率、結晶軸方向及びエッチング特性の少なくとも1つであることを特徴としている。

【0026】また請求項8に記載された発明は、請求項5または請求項6に記載されたフォトニック結晶の製造方法において、第1工程によって厚み方向に屈折率の異なる物質を形成したことを特徴としている。

【0027】また請求項9に記載された発明は、請求項8に記載されたフォトニック結晶の製造方法において、該屈折率が厚み方向に徐々に異なるようにしたことを特徴としている。

【0028】また請求項10に記載された発明は、面方向に物性値の異なる物質から成る基体を形成する第1工

程と、前記基体に周期的に配列した複数の孔部を形成する第2工程と、を備えたことを特徴としている。

【0029】この構成によると、面方向に異なる物性値を有する複数の媒質を並列に配して基体を形成することにより、陽極酸化やエッチング加工等によって周期的に配列される複数の孔部が形成される。これにより一の媒質と孔部内の空気とが面方向に周期的に配列される二次元フォトニック結晶と、他の媒質と空気とが面方向に周期的に配列される二次元フォトニック結晶とが面方向に並設された複数の光学的特性を有するフォトニック結晶を得ることができる。

【0030】また請求項11に記載された発明は、請求項10に記載されたフォトニック結晶の製造方法において、前記物性値は屈折率、結晶軸方向及びエッチング特性の少なくとも1つであることを特徴としている。

【0031】また請求項12に記載された発明は、媒質に外部から磁界を加えて、前記媒質の表面に周期的に配列した複数の孔部を凹設する孔部形成工程を有することを特徴としている。この構成によると、例えば、媒質に電圧を印加して陽極酸化または陽極化成により孔部を形成する。電界により加速されたイオンは磁界の方向に応じて進行方向が電界方向に対して傾斜する。これにより、磁界の方向に応じて傾斜した孔部が形成される。

【0032】また請求項13に記載された発明は、媒質の部位に応じて異なる電圧を加えて、前記媒質の表面に周期的に配列した複数の孔部を凹設する孔部形成工程を有することを特徴としている。この構成によると、媒質を形成した基板を所定の溶液中に浸漬し、基板を陽極に配して電圧を印加することにより陽極酸化または陽極化成が行われる。これにより、基体が表面から酸化または化成され、基体には周期的に配される孔部が形成される。この時、媒質の部位により異なる電圧を印加して孔部の周期が可変される。

【0033】また請求項14に記載された発明は、請求項13に記載されたフォトニック結晶の製造方法において、前記媒質を抵抗材料から成る基板上に形成したことを特徴としている。この構成によると、電圧の印加点からの距離に応じて基板の抵抗によって電圧降下し、媒質に印加される電圧が可変される。

【0034】また請求項15に記載された発明は、請求項13に記載されたフォトニック結晶の製造方法において、前記媒質を領域毎に異なる抵抗値で形成される下地に形成したことを特徴としている。この構成によると、基板に印加される電圧が下地の抵抗によって電圧降下し、領域毎に媒質に印加される電圧が可変される。

【0035】また請求項16に記載された発明は、請求項12～請求項13のいずれかに記載されたフォトニック結晶の製造方法において、前記孔部形成工程を陽極酸化または陽極化成により行うことを特徴としている。

【0036】

【発明の実施の形態】以下に本発明の実施形態を図面を参照して説明する。説明の便宜上、従来例の図12～図15と同一の部分については同一の符号を付している。図1は第1実施形態のフォトニック結晶の製造方法を示す断面図である。図1(a)に示すように、基板3上にはエッチング特性の異なる媒質6、7が厚み方向に周期的に積層され、多層膜から成る基体21が形成されている。

【0037】媒質6、7は、スパッタリング、蒸着或いはCVD等により成膜することができ、異なる材料を用いて積層してもよいし、所望の材料の成膜中に他の材料をドーピングしてもよい。次に、前述した図13に示すように、孔部形成工程においてフォトリソグラフィ技術によりレジスト11を所望形状にパターンニングし、RIE等によりエッチングする。

【0038】これにより、図1(b)に示すように、基体21の厚み方向に凹設される周期的に配列された孔部6a、7aを得ることができる。その結果、媒質6と孔部6a内の空気とから成るフォトニック結晶と、媒質7と孔部7a内の空気とから成るフォトニック結晶とが積層される。次に、孔部拡大工程において所定のエッチング液に浸漬することにより孔部6a、7aの径を広くすることができる。この時、媒質6、7が異なるエッチング特性を有しているため、図1(c)に示すように、孔部6a、7aを異なる径にすることができる。

【0039】これにより、媒質6、7の屈折率が異なる場合には、断面G-Gでは、媒質6、7が厚み方向に周期的に配され、断面H-Hでは媒質6と空気とが厚み方向に周期的に配された擬似的な三次元の周期構造を有するフォトニック結晶を得ることができる。

【0040】また、媒質6、7の屈折率が同じであっても異なった径の孔部6a、7aが形成されるため、図1(c)において、矢印X1、X2のように入射光の入射位置に応じて異なる光学的特性が得られる。

【0041】従って、同図に示すように、矢印X1、X2のように入射光の入射位置に応じて異なる光学的特性を有する二次元のフォトニック結晶を多層化したフォトニック結晶や、三次元のフォトニック結晶を1回の孔部形成工程により低コストで作成することができる。また、孔部形成工程は、前述の図15に示すように陽極酸化或いは陽極化成により行っても同様の効果を得ることができる。

【0042】次に図2(a)、(b)は第2実施形態のフォトニック結晶の製造方法を示す斜視図及び断面図である。本実施形態は厚み方向(図中、上下方向)に屈折率分布を有する基体22に、前述の図13に示すエッチングまたは図15に示す陽極酸化や陽極化成を用いた孔部形成工程により孔部22aが形成される。

【0043】屈折率分布を有する基体22は、所望の材料の成膜中に他の物質をドーピングし、ドーピング量を

徐々に可変することにより作成することができる。また、ドーピングを行う物質を徐々に変えてもよく、成膜する材料を徐々に変えてもよい。

【0044】このようにして得られるフォトニック結晶1は矢印X1、X2のように入射光の入射位置に応じて異なる光学的特性を有するフォトニック結晶を1回の孔部形成工程により低コストで作成することができる。また、第1実施形態と同様に、孔部拡大工程において所定のエッチング液に浸漬することにより、孔部22aの径を広くすることができる。この時、基体22が厚み方向にエッチング特性の分布を有すると、図3に示すように、孔部22aを厚み方向に異なる径にすることができる。

【0045】これにより、入射光の厚み方向の入射位置に応じて更に異なる光学的特性を有するフォトニック結晶を得ることができる。また、第1実施形態と同様に、基体22は厚み方向に屈折率が同じであってもエッチング特性が異なれば孔部拡大工程によって孔径を厚み方向に可変し、入射位置に応じて異なる光学的特性を得ることができる。

【0046】次に、図4は第3実施形態のフォトニック結晶の製造方法を示す平面図である。本実施形態は図4(a)に示すように、基体23は屈折率の異なる媒質6、7が面方向(紙面に平行な方向)に並設されて形成されている。そして、図4(b)に示すように、前述の図13に示すエッチングまたは図15に示す陽極酸化や陽極化成を用いた孔部形成工程により基体23に孔部6a、7aが形成される。

【0047】屈折率の異なる媒質6、7を面方向に併設した基体23は以下のような方法で作成することができる。まず、媒質6をスパッタリング等により成膜する。次に、媒質7の領域をフォトリソグラフィによりパターンニングしてエッチングする。次に、媒質7を成膜し、媒質6の領域を媒質7の厚み分だけエッチングする。

【0048】本実施形態によると、孔部6a内の空気と媒質6とが周期的に配列された二次元フォトニック結晶と、孔部7a内の空気と媒質7とが周期的に配列された二次元フォトニック結晶とが同一面内の異なる位置に配されている。これにより、同一面内の異なる位置に入射する入射光の入射位置に応じて異なる光学的特性を有するフォトニック結晶を1回の孔部形成工程により低コストで作成することができる。

【0049】また、図4(b)のフォトニック結晶は、孔部拡大工程において所定のエッチング液に浸漬することにより孔部6a、7aの径を広くすることができる。この時、媒質6、7が異なるエッチング特性を有すると、図4(c)に示すように、孔部6a、7aを異なる径にすることができる。

【0050】これにより、孔部形成工程をエッチングにより行う場合はパターンニングによって孔部6a、7aの

径を可変できるが、陽極酸化または陽極化成により行う場合においても、孔部拡大工程によって孔部6a、7aの径を可変することができる。従って、入射光の面方向の入射位置に応じて更に異なる光学的特性を有するフォトニック結晶を得ることができる。

【0051】また、第1、第2実施形態と同様に、基体23の媒質6、7は屈折率が同じであってもよく、エッチング特性が異なれば孔部形成工程を陽極酸化または陽極化成により行った場合でも孔部拡大工程によって孔径を同一面内で可変し、面方向の異なる入射位置に入射する入射光に対して異なる光学的特性を得ることができる。

【0052】また、図11に示すように、媒質7をL字型に配して基体25を形成することによって、媒質7による導波路を構成することができる。従って、従来の技術では不可能であった鋭角に屈曲した損失のない導波路を低コストで作成することができる。

【0053】次に、第4実施形態について説明する。スパッタリング、蒸着或いはCVD等により基板上に所望の媒質を成膜する際に、図5(a)に示すように、基板3を傾斜させ、図中、上方から媒質8を成膜すると、媒質8は結晶軸8bの方向が基板3に対して傾斜して形成される。この媒質8にエッチングや陽極酸化等により孔部を形成すると、図5(b)に示すように、孔部8aが結晶軸8bに応じて形成され、孔部8aが基板3に対して傾斜する。

【0054】この性質を利用した第4実施形態を図6、図7に示す。図6(a)、(b)、(c)はそれぞれ図7のA面、B面、C面に平行な断面図である。本実施形態では、結晶軸9bの方向が異なる媒質9p、9q、9r、9sを積層して基体24が形成されている。

【0055】媒質9p、9q、9r、9sは、図6(c)における点p、点q、点r、点sを紙面から上方に離れるように傾斜させた状態で、紙面から離れた上方から成膜することによって、それぞれ異なった結晶軸9bの方向に形成されている。

【0056】そして、基体24には、前述の図13に示すエッチングまたは図15に示す陽極酸化や陽極化成を用いた孔部形成工程により孔部9aが形成される。この時、孔部9aは結晶軸9bに応じて形成されるので、図7に示すように螺旋状になる。

【0057】積層された媒質9p～9sから成る各層は、媒質の屈折率、孔部の径、孔部の周期等が同じ面方向の周期構造を形成する。基体24の厚み方向には4層毎に孔部9a内の空気と媒質9p～9sとが周期的に配された周期構造となる。従って、三次元のフォトニック結晶を1回の孔部形成工程により低コストで作成することができる。尚、基体24の傾斜方向をより細分化或いは連続的に変化させて成膜することにより、孔部9aをより滑らかな螺旋状に形成することができる。

【0058】また、前述の図1～図4に示す第1～第3

実施形態の基体21～23として、結晶軸の方向が異なる媒質を積層して形成することによって、より複雑な光学的特性を有するフォトニック結晶を得ることができる。

【0059】次に、第5実施形態について説明する。図8(a)は、基板3上にアルミニウム等の媒質10を成膜等により形成して前述の図15に示す陽極酸化または陽極化成を用いた孔部形成工程によって孔部10aを形成した状態を示す図である。この時、媒質10には外部から磁界が加えられている。

【0060】孔部10aの拡大図を図8(b)に示すと、例えば陽極酸化を行う場合には、基板3に電圧が印加されて電解液中の酸素イオン16には電界Eが作用する。これにより、酸素イオン16は電界Eの方向に孔部10aを掘り下げて、多孔質アルミナ等の酸化物10bを形成する。更に、紙面に垂直な方向に磁界を加えることにより、酸素イオン16には図中、左右方向に電磁力Fが働く。これにより、酸素イオン16は媒質10の表面に対して傾斜して進行し、孔部10aが傾斜して形成される。

【0061】従って、陽極酸化または陽極化成の際に媒質10にかかる磁界の方向を可変することにより、前述の図7に示す第4実施形態と同様に、螺旋状の孔部を形成することができる。その結果、三次元のフォトニック結晶を1回の孔部形成工程により低コストで作成することができる。

【0062】また、前述の図1～図7に示す第1～第4実施形態の基体21～24を陽極酸化または陽極化成により孔部を形成する際に、基体21～24に磁界をかけることによって、より複雑な光学的特性を有するフォトニック結晶を得ることができる。

【0063】次に、図9は第6実施形態を示す図である。基板3上にはアルミニウム等の媒質10が成膜等により形成され、陽極酸化または陽極化成の際に基板3の電圧を印加する電源13が基板3の端部に接続されている。基板3はカーボンや鉄ニッケル合金等の抵抗材料から成り、電源13による電圧の印加点Qからの距離に応じて異なる抵抗値を有する。

【0064】このため、基板3に電圧を印加して前述の図15に示す陽極酸化または陽極化成を行うと、印加点Qから近い位置では電圧降下が小さく媒質10に高い電圧が印加される。印加点Qから遠い位置では電圧降下が大きく媒質10に低い電圧が印加される。

【0065】孔部10aの周期Pは、印加される電圧に略比例するため、矢印D2方向に行く程孔部10aの周期Pが小さく、矢印D1方向に行く程孔部10aの周期Pが大きくなる。従って、所望の抵抗値を有する抵抗材料により基板3を形成することによって、孔部10aの周期Pが徐々に変化した所望の周期を得ることができ、複雑な光学的特性を有するフォトニック結晶を得ること

ができる。

【0066】また、前述の図1～図7に示す第1～第4実施形態の基体21～24を陽極酸化または陽極化成により孔部を形成する際に、基板3を所定の抵抗値を有する抵抗材料から形成することによって、より複雑な光学的特性を有するフォトニック結晶を得ることができる。

【0067】次に、図10(a)、(b)は第7実施形態を示す側面図及び平面図である。導電性の基板3の上面は、 SiO_2 等の絶縁体14により領域R1～R5に分割されている。各領域R1～R5には、基板3上に抵抗材料から成る下地層12が形成され、下地層12上にアルミニウム等の媒質10が成膜等により形成されている。基板3には電源13が接続され、媒質10に電圧を印加することにより前述の図15に示す陽極酸化または陽極化成が行われる。

【0068】各領域R1～R5の下地層12は抵抗値が異なるように形成され、下地層12による電圧降下によって、各領域R1～R5の媒質10には異なる電圧が印加される。孔部10aの周期Pは、印加される電圧に略比例するため、各領域R1～R5毎に異なる周期の孔部10aが形成される。各領域R1～R5の下地層12は、同図に示すように抵抗材料の厚みにより抵抗値を可変してもよいし、異なる抵抗材料を形成してもよい。

【0069】これにより、前述の図9に示す第6実施形態では印加点Qから同心円状に孔部の周期Pが可変されるのに対し、所望の形状の領域毎に孔部10aの周期を可変することができる。従って、複数の入射光の面方向に異なる入射位置に応じて異なる光学的特性を有するフォトニック結晶を得ることができる。

【0070】また、前述の図1～図7に示す第1～第4実施形態の基体21～24を陽極酸化または陽極化成により孔部を形成する際に、基板3と基体21～24との間に分割された各領域毎に所定の抵抗値を有する下地層を形成することによって、より複雑な光学的特性を有するフォトニック結晶を得ることができる。

【0071】

【発明の効果】請求項1の発明によると、厚み方向に結晶軸方向或いはエッチング特性の異なる基体の表面に、周期的に配列した複数の孔部を凹設することにより、孔部は径や方向が異なって形成される。これにより、入射光の入射位置に応じて異なる光学的特性を有するフォトニック結晶を1回の孔部形成工程により低コストで作成することができる。

【0072】また請求項2、請求項3の発明によると、厚み方向に屈折率の異なる物質を形成しているため、一の媒質と孔部内の空気とが面方向に周期的に配列される二次元フォトニック結晶と、他の媒質と空気とが面方向に周期的に配列される二次元フォトニック結晶とが厚み方向に周期的に積層され、複数の光学的特性を有するフォトニック結晶を1回の孔部形成工程により低コストで

作成することができる。

【0073】また請求項4の発明によると、孔部の断面積をエッチングにより拡大するので、異なるエッチング特性を有する複数の媒質に形成された孔部をエッチングにより拡大すると、エッチング速度の違いによって一の媒質の孔部の径が他の媒質の孔部の径と異なるように形成される。従って、三次元フォトニック結晶等の厚み方向に異なる光学的特性を有するフォトニック結晶を簡単に得ることができる。

【0074】また請求項5の発明によると、基体の部位に応じて印加電圧を可変して孔部を形成することによって孔部の周期が可変される。従って、孔部の周期が徐々に変化した所望の周期が得られ、複雑な光学的特性を有するフォトニック結晶を1回の孔部形成工程により低コストで作成することができる。

【0075】また請求項6の発明によると、外部から磁界をかけて孔部を形成することにより、酸素イオン等に電磁力が働くため傾斜した孔部が形成される。従って、磁界の方向を可変することにより、螺旋状の孔部を形成することができる。その結果、三次元のフォトニック結晶を1回の孔部形成工程により低コストで作成することができる。

【0076】また請求項7～請求項9の発明によると、基体は厚み方向に異なる屈折率、結晶軸方向、エッチング特性を有するため、より複雑なフォトニック結晶を作成することができる。

【0077】また請求項10、請求項11の発明によると、面方向に屈折率等の物性値の異なる基体の表面に、周期的に配列した複数の孔部を凹設することにより、孔部は径や方向が異なって形成される。これにより、同一面内の異なる位置に入射する入射光に応じて異なる光学的特性を有するフォトニック結晶を1回の孔部形成工程により低コストで作成することができる。

【0078】また請求項12の発明によると、外部から磁界をかけて孔部を形成することにより、酸素イオン等に電磁力が働くため傾斜した孔部が形成される。従って、磁界の方向を可変することにより、螺旋状の孔部を形成することができる。その結果、三次元のフォトニック結晶を1回の孔部形成工程により低コストで作成することができる。

【0079】また請求項13の発明によると、基体の部位に応じて印加電圧を可変して孔部を形成することによって孔部の周期が可変される。従って、孔部の周期が徐々に変化した所望の周期が得られ、複雑な光学的特性を有するフォトニック結晶を1回の孔部形成工程により低コストで作成することができる。

【0080】また請求項14の発明によると、基板に抵抗材料を用いて陽極酸化または陽極化成を行うことにより、媒質に印加される電圧を可変して簡単に孔部の周期を可変することができる。

【0081】また請求項15の発明によると、領域毎に媒質に抵抗を有する下地を設けて陽極酸化または陽極化成を行うことにより、簡単に孔部の周期を可変することができる。また、領域毎に所望の周期の孔部を形成することができる。

【0082】また請求項16の発明によると、陽極酸化または陽極化成を行って孔部を形成することにより、簡単に孔部の方向や周期を可変することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1実施形態のフォトニック結晶 10の製造方法を示す断面図である。

【図2】 本発明の第2実施形態のフォトニック結晶の孔部形成工程を示す図である。

【図3】 本発明の第2実施形態のフォトニック結晶の孔部拡大工程を示す断面図である。

【図4】 本発明の第3実施形態のフォトニック結晶の製造方法を示す断面図である。

【図5】 本発明の第4実施形態のフォトニック結晶の製造方法を示す断面図である。

【図6】 本発明の第4実施形態のフォトニック結晶 20の製造方法を示す断面図である。

【図7】 本発明の第4実施形態のフォトニック結晶の製造方法を示す斜視図である。

【図8】 本発明の第5実施形態のフォトニック結晶の製造方法を示す断面図である。

【図9】 本発明の第6実施形態のフォトニック結晶*

*の製造方法を示す断面図である。

【図10】 本発明の第7実施形態のフォトニック結晶の製造方法を示す図である。

【図11】 本発明の第3実施形態のフォトニック結晶の製造方法によって形成される他のフォトニック結晶を示す図である。

【図12】 従来のフォトニック結晶を示す斜視図である。

【図13】 従来のフォトニック結晶の製造方法を示す斜視図である。

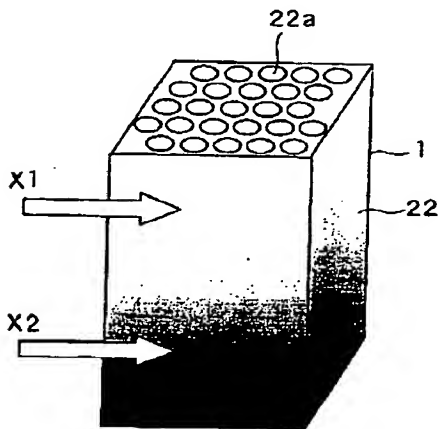
【図14】 従来のフォトニック結晶を示す断面図である。

【図15】 従来のフォトニック結晶の他の製造方法を示す斜視図である。

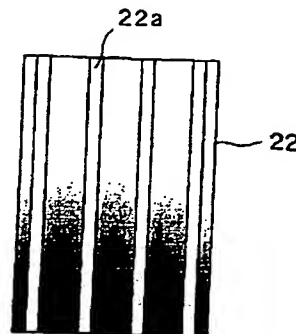
【符号の説明】

- 1 フォトニック結晶
- 2 光導波層
- 3 基板
- 4、6～10 媒質
- 5 多孔質アルミナ層
- 11 レジスト
- 12 下地層
- 13 電源
- 14 絶縁体
- 16 酸素イオン
- 21～24 基体

【図2】

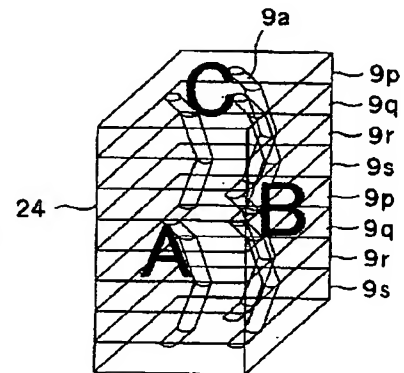


(a)

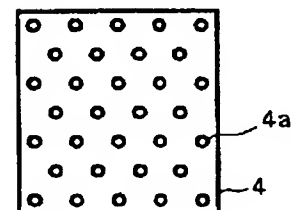


(b)

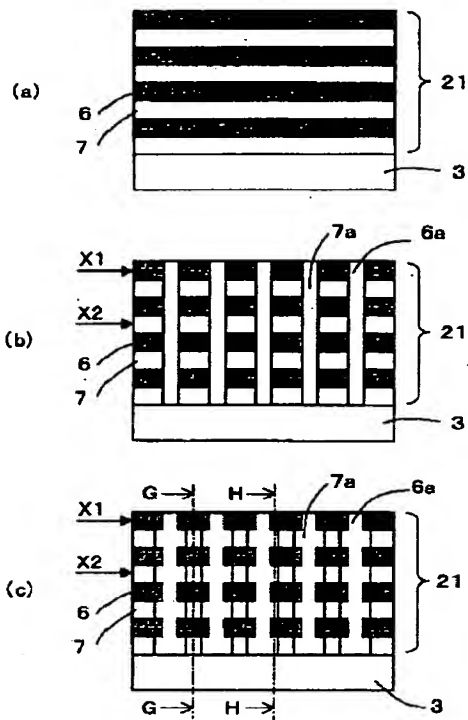
【図7】



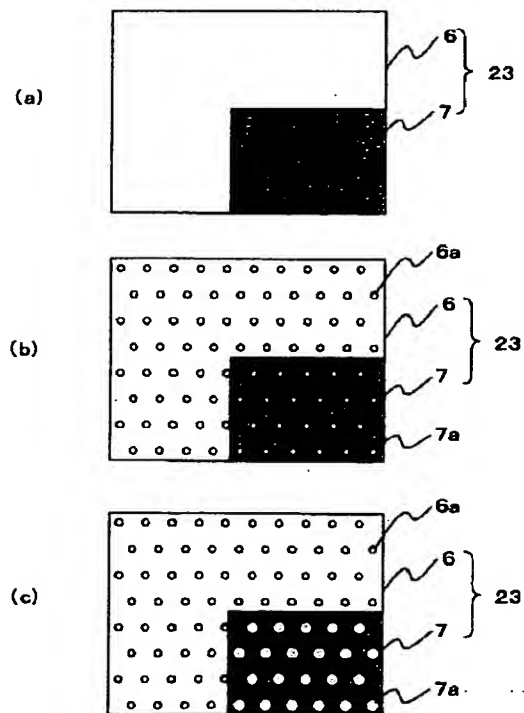
【図14】



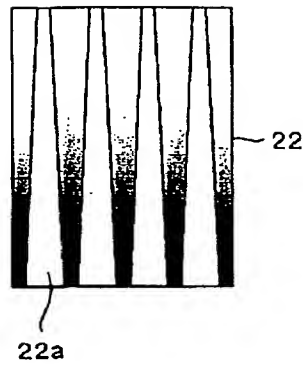
【図1】



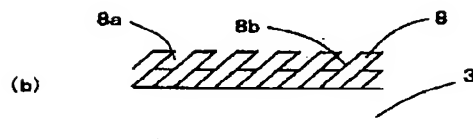
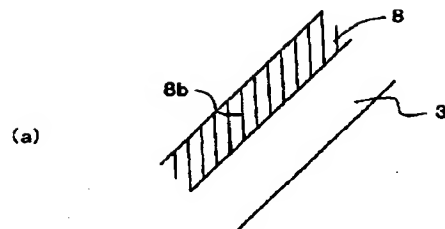
【図4】



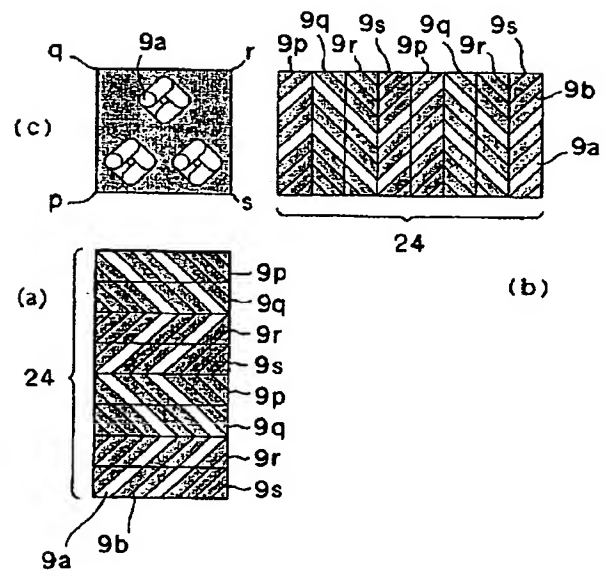
【図3】



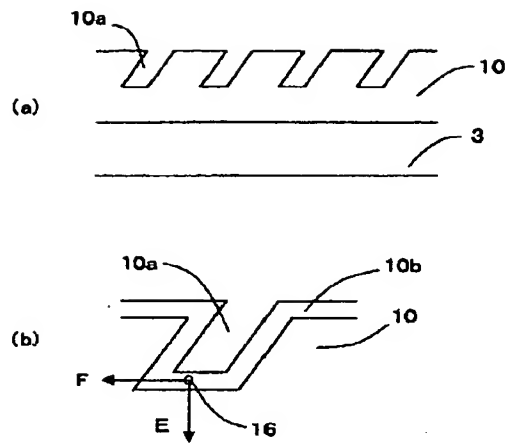
【図5】



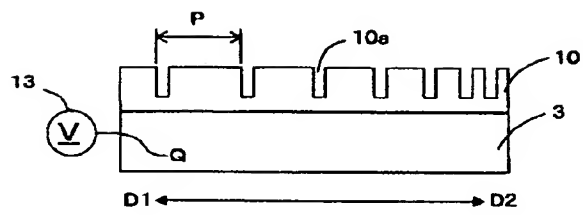
【図6】



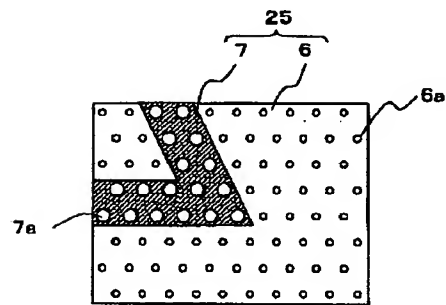
【図8】



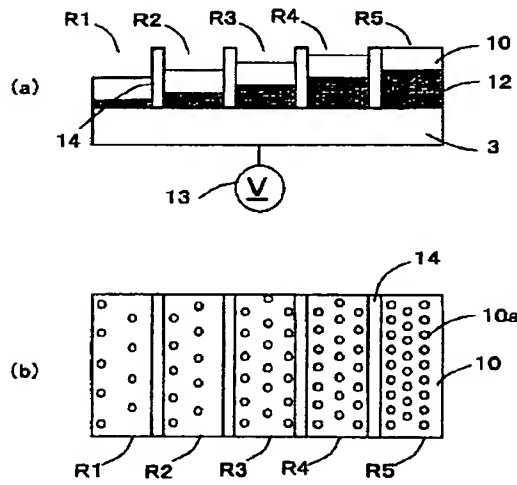
【図9】



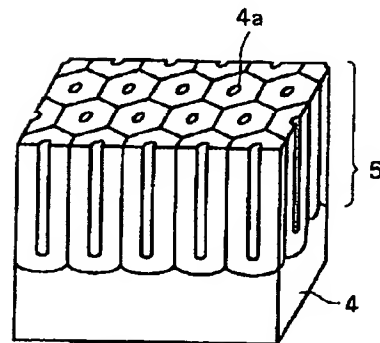
【図11】



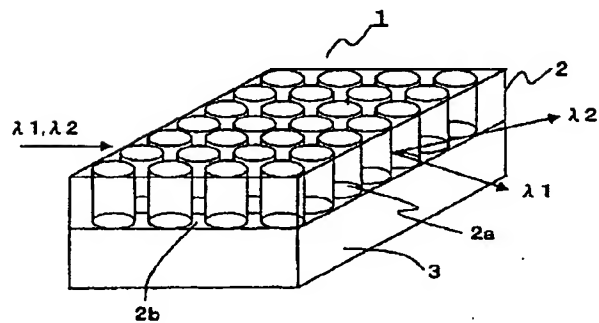
【図10】



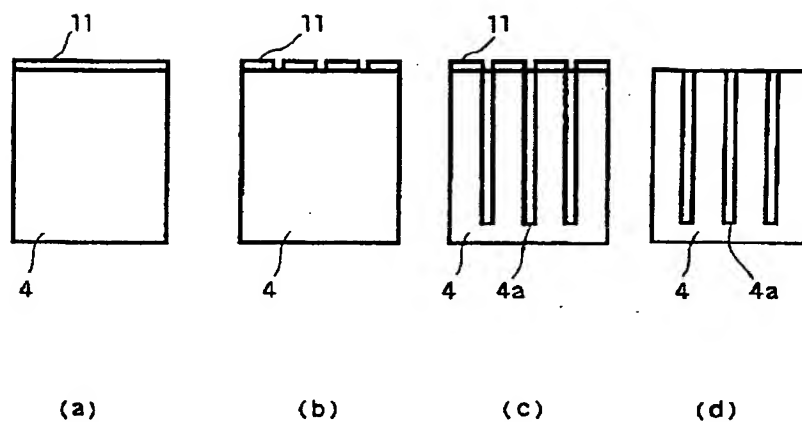
【図15】



【図12】



【図13】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テーマコード (参考)

G 0 2 B 6/12

N

(72)発明者 寺本 みゆき

大阪府中央区安土町二丁目3番13号 大阪
国際ビル ミノルタ株式会社内

Fターム (参考)

2H047 KA03 LA18 PA01 PA24 QA01
2H049 AA01 AA02 AA31 AA33 AA37
AA44 AA48 AA57 AA59 AA65
BA01 BA42 BB01 BB03 BB06
BB62 BC08 BC25

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER: _____**

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.